

水中での非接触給電を想定した電力通信に関する基礎研究

東京海洋大学 ◎佐藤直樹 上松嵩幸 木船弘康

1. はじめに

海水中での非接触給電を実現する上で、送受電を行う主回路の他に主回路を制御するための通信装置が必要となる。通信方式としては、大容量の通信も行える誘電体を用いた無線通信⁽¹⁾が有力視される。しかしながら、接触する誘電体間に、海水がある一定以上 (数 mm~10 数 mm) の厚みで入り込むと、通信は困難になる。一方で電磁誘導による非接触給電は数 10mm の厚み (ギャップ) が生じても問題はない。このように、海水やコイルの位置関係などによって、送電はできるが通信が行えない状況が発生し得る。水中ロボットには高い冗長性が求められるため、この状況にも対応できるバックアップシステムが必要となる。そこで、本研究ではバックアップシステムの 1 つとして「電力通信」を提案する⁽²⁾。この方法では本来送受電に用いるインバータと送受電コイルを通信にも使うので送受電できる状況であれば通信もできる仕組みである。この仕組みを搭載することで水中での非接触給電装置に高い冗長性をもたせることが本研究の最終目的である。

送受電機器を通信に使用するにはまずその物理的な特性を知ることが必要である。そこで本研究では試作回路による実験を通じてその電気的な特性について様々な条件の下に検証した。

2. 実験方法

提案する電力通信についてその電磁気的な特性を把握するため、通信の模擬実験を行った。実験用に試作した非接触給電装置の主回路を図 1 に示す。電力通信中は直列共振キャパシタを短絡して非共振状態で駆動する。コイルは送電側、受電側共に同一のものを使用した(表 1 参照)。なお、通信時のインバータ入力電圧 v_{DC1} は送電時に比べて低く設定されている。本実験ではパラメータとして送受電コイル間のギャップとずれを図 2 のように定義している。ずれは 0~140mm の範囲を 10mm 間隔で、ギャップは 2~62mm の範囲を 12mm 間隔で変化させ実験を行った。

表 1 通信模擬実験の条件

コイル直径	220mm	V_{DC1} (通信時)	15V
コイル巻き数	22	受電側抵抗	1000Ω
コイル形式	パンケーキ型コイル (リッツ線) + 板状フェライトコア		

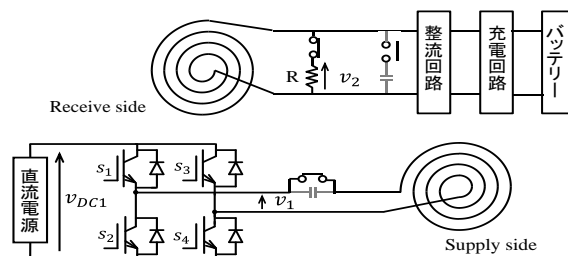


図 1 通信中の非接触給電装置の主回路

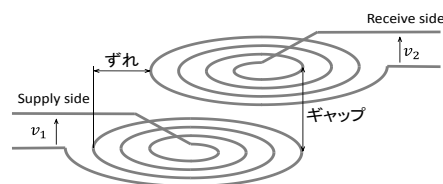


図 2 送受電コイル間のギャップとずれ

3. 実験結果

3.1 波高値の比 k について

図 3 は実験波形の一例である。コイルの巻き線方向がわかっているので正、負、0 の 3 値での通信が可能である。送電側の送信信号電圧 v_1 の波高値を v_{1-peak} 、受電側の受信信号電圧 v_2 の波高値を v_{2-peak} として、波高値の比 $k = v_{2-peak}/v_{1-peak}$ を定義する。試作回路内の半導体スイッチとして IGBT を使用しているため、信号として電圧を出力していない期間にあっても飽和電圧により v_1 、 v_2 が 0 にならない。このため、受電側で信号を正しく読み取るためには

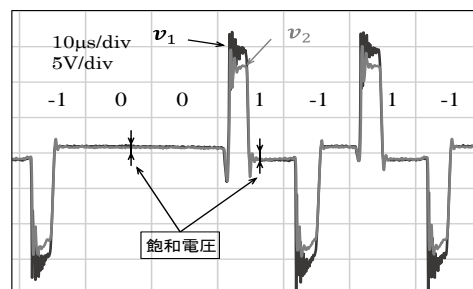


図 3 計測波形サンプル

飽和電圧以上の電圧が受信されなければならない。

ずれ, ギャップを変化させて k の変化を表したものが図 4 である。ずれ, ギャップが大きくなると k は小さくなる傾向が見られる。これは送受信コイル間の電磁気的な結合が弱まるためである。また, コイル直径 (220mm) に対して約 1/2 以上(110mm)のずれが発生すると k が 0 以下になる領域がある。これは, ずれが大きくなることによって受電側コイルを貫通する磁束の向きが反転するために起こる現象で, この領域では 1 と -1 の信号が反転しており正しく読み取れていない状態である。

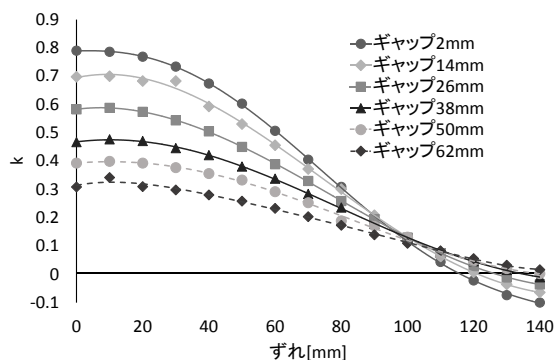


図 4 ギャップとずれによる k の変化

3.2 連続信号について

制御基板から送電側高周波インバータの各半導体スイッチ ($s_1 \sim s_4$, 図 1 参照) に ON-OFF 信号 $v_{s1} \sim v_{s4}$ を与えている。 v_{s1} と v_{s4} が同時に ON した時に v_1 として +1 が出力され, v_{s2} と v_{s3} が同時に ON した時に -1 が出力される。この電力通信において, 連続して同一符号の電圧信号を出力し続けた場合, 送受信信号電圧 v_1, v_2 に図 5 のような現象が発生する。これは, v_{s1}, v_{s2} の信号幅の duty を 25% とし, +1 を 7 連続で出力後, 続けて -1 を 7 連続で出力することを繰り返して行った結果である。同一符号の信号を連続送信する数が多いほどこうした現象が顕著になり, 図のように送受信信号が変形し, 2 つの信号が重なって 1 つの信号となることもある。これは, 符号が連続するとコイルに流れる励磁電流が大きくなり, 符号反転時にこの励磁電流によって意図しない電圧がコイル端に発生するためである。非接触給電装置の主回路を通信に使う上で, 励磁電流をなくすことは困難であり, 通信として用いる際は信号に制限をかけて回避する必要がある。

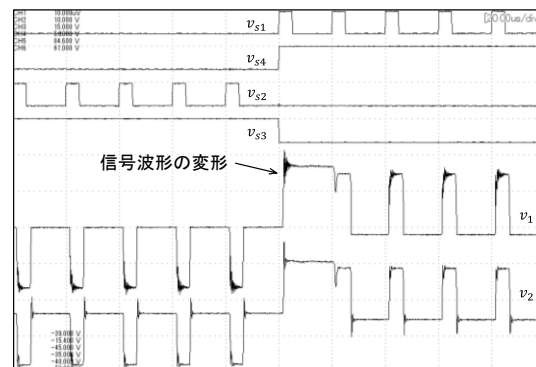


図 5 7 連続時の信号波形

4. 特性から見た信号の基本条件

ずれ距離が大きくなると信号が反転することや, 連続で出せる信号の数の制限が出ることを踏まえ, 提案する電力通信では AMI 符号 (Alternate Mark Inversion code) を採用する。これは図 6 のように 1 の信号に対して正の電圧と負の電圧を対応させ, 正負の電圧を交互に出力する方式である。読み取りの際に整流すれば符号反転の影響もなくなるので, 電力通信に使用する符号として最適である。

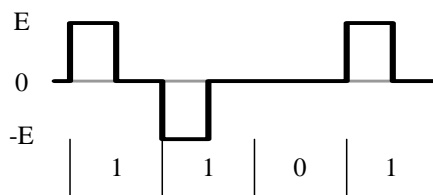


図 6 AMI 符号イメージ

5. おわりに

電力通信の物理的な特性を知るため, 模擬通信実験を行った結果, 通信を行う上での条件が確認できた。その上で通信に使用する伝送符号を検討し AMI 符号が適切となる可能性を示した。今後は水中での非接触給電装置への実装に向けて研究を進めていく。

本研究は JSPS 科研費 15K14261 の助成を受けたものである。

参考文献

- (1) 清水悦郎・他, “水中通信システム” 特願 2013-161529
- (2) 木船弘康・他, “AUV 向け非接触給電装置の基礎検討” 電気学会半導体電力変換研究会, SPC-15-117, pp.29-32